

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Уральский государственный лесотехнический университет**

**Кафедра охраны труда**

**Сычугов С.Н.**

**ШАГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ**

**Методическое руководство  
к лабораторной работе**

**Екатеринбург 2002**

Печатается по решению методической комиссии института ИЛБидС  
Протокол № 10 от 3 июля 2014 г. \_\_

Рецензент – профессор, д.т.н. Старжинский В.Н.

Редактор

Подписано в печать		Поз.	
Плоская печать	Формат 60 x 84 1/16	Тираж	экз.
Заказ	печ. л.	Цена	

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

**Цель работы:** Изучение распределения потенциалов на поверхности земли в поле растекания тока на различных грунтах, а также шаговых напряжений в зависимости от расстояния шага до места замыкания на земле.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В процессе эксплуатации электрических установок человек может быть поражен электрическим током в результате попадания под шаговое напряжение. Опасность поражения электрическим током среди прочих опасностей отличается тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить наличие напряжения дистанционно, как, например, у движущихся частей, раскаленных объектов, открытых люков, неогржденных краев площадки, находящейся на высоте и т.п. Оно обнаруживается лишь после поражения человека электрическим током. Поэтому необходимо иметь четкое представление о шаговом напряжении и напряжении прикосновения, чтобы предусмотреть защитные меры, полностью обеспечивающие безопасность персонала, обслуживающего электроустановки.

### ***Шаговое напряжение***

При возникновении контакта между токоведущими частями и заземленным корпусом электрооборудования на корпусе относительно земли появляется потенциал. Корпус имеет электрическую связь с заземлением, поэтому можно считать, что потенциалы корпуса и заземлителя равны, и заземлитель в данном случае будет являться точкой замыкания на землю.

***Замыканием на землю*** называется случайное электрическое соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с землей. Место, где в землю стекает ток, называется ***точкой замыкания на землю***. Точкой замыкания на землю может быть заземлитель или упавший на землю провод.

Ток, стекая с заземлителя на землю, растекается по значительному ее объему. Область грунта, лежащая вблизи заземлителя, где потенциалы не равны нулю, называется ***полем растекания тока***. Форма заземлителя может быть очень сложной, и электрические свойства грунта, как правило, неоднородны, поэтому закон распределения потенциала вблизи заземлителя определяется сложной зависимостью. С целью упрощения изображения электрического поля и анализа его допустим, что ток стекает в землю через одиночный заземлитель полушаровой формы, уложенный в однородном грунте (рис. 1).

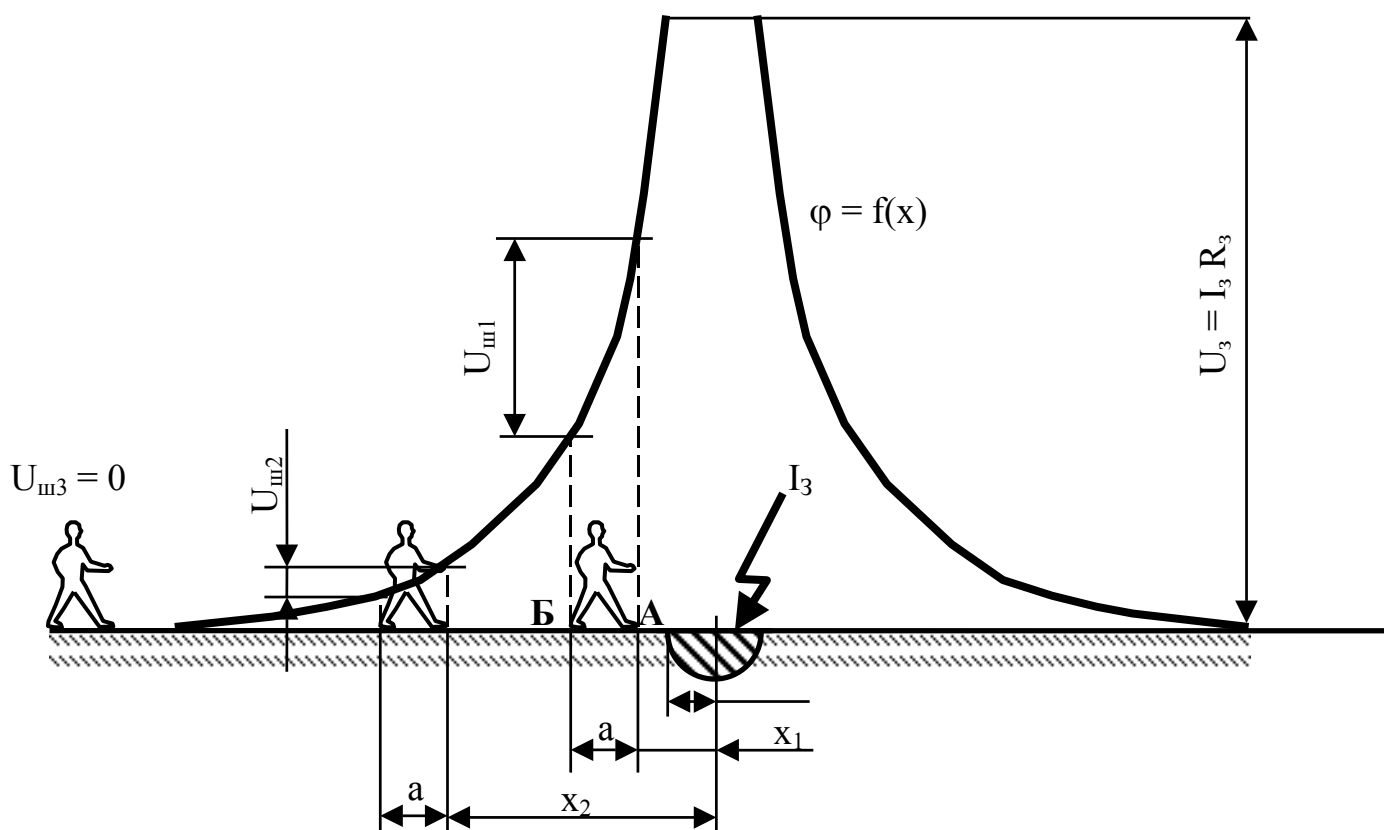


Рис. 1. Гиперболический закон изменения потенциалов точек земли

Плотность тока  $\delta$  на расстоянии  $x$  от центра заземлителя определяется как отношение тока замыкания на землю  $I_3$  к площади поверхности полушара с радиусом  $x$

$$\delta = \frac{I_3}{2\pi x^2},$$

Для определения потенциала в точке А выделим в поле растекания тока элементарный слой  $dx$ . Падение напряжения  $dU$  в этом слое равно

$$dU = E dx,$$

где  $E = \delta \rho$  – напряженность электрического поля;  
 $\rho$  – удельное сопротивление грунта

В бесконечно удаленной точке ( $x = \infty$ ) плотность тока, напряженность электрического поля и потенциалы равны нулю.

Потенциал земли в точке А, находящейся на расстоянии  $x$  от центра заземлителя, определяется

$$\varphi_A = U_A = \int_{\infty}^x dU = \frac{\rho I_3}{2\pi} \int_{\infty}^x \frac{dx}{x^2} = \frac{\rho I_3}{2\pi x} \quad (1)$$

где  $I_z$  – ток замыкания на землю, который определяется при рассмотрении полной цепи замыкания, А  
 $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м  
 $x$  – расстояние от центра заземлителя до определяемой точки, м

Из выражения (1) видно, что потенциал точек на поверхности грунта уменьшается с удалением от места замыкания на землю и в пределе стремится к нулю. Область поверхности грунта, потенциал которой равен нулю, называется *электротехнической землей*.

Кривая распределения потенциалов (рис. 2), полученная непосредственными измерениями значений потенциалов растекания от трубчатого заземлителя, имеет примерно такой же вид, как и у заземлителя полушаровой формы.

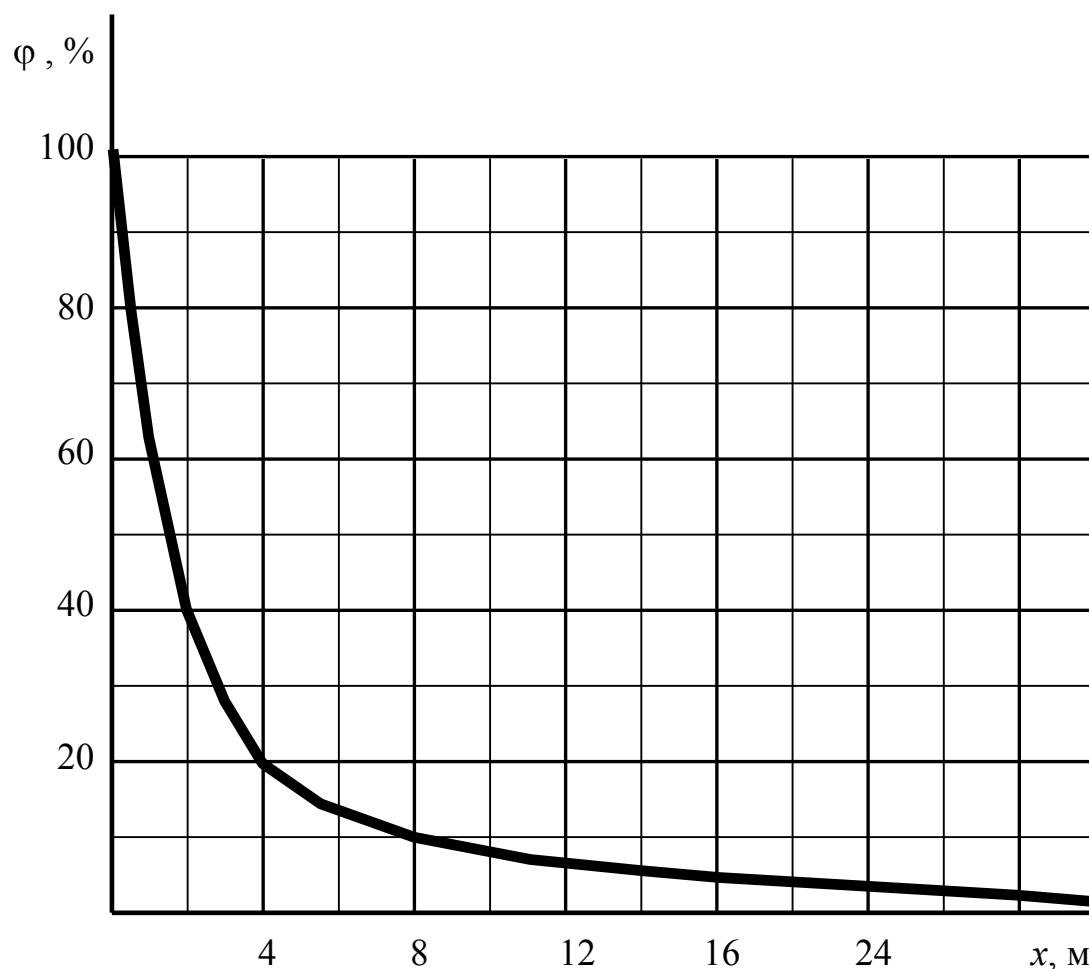


Рис. 2. Характер распределения потенциалов в земле при стекании тока с трубчатого заземлителя

Из кривой (рис. 2) видно, что поверхность заземлителя имеет максимальный потенциал. На расстоянии 1 м от места стекания тока в землю потенциал снижается на 68%. В конце десятого метра снижение достигает 92%, а на расстоянии 20 м потенциал точек практически равен нулю.

Сопротивление току растекания на землю оказывает объем грунта радиусом 20 м, находящийся в поле растекания тока. За пределами электрического поля грунт представляет собой проводник с бесконечно большим поперечным сечением и не оказывает сопротивления протеканию электрического тока. Практически электротехническая земля начинается с расстояния от 10 до 20 м от заземлителя.

Если человек попадает в зону растекания тока, то его ноги могут касаться точек, имеющих разный потенциал. Точки поверхности земли, расположенные ближе к заземлителю, имеют больший потенциал, а точки, расположенные дальше от заземлителя, имеют меньший потенциал. Следовательно, на ширине шага ( $d = 0,8$  м) в поле растекания тока существует разность потенциалов. Эту разность потенциалов называют *шаговым напряжением*.

Величина шагового напряжения зависит от ширины шага и расстояния до места замыкания на землю. Шаговое напряжение на различном расстоянии от точки замыкания (см. рис. 1) можно определить следующими выражениями:

$$U_{ш1} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{I_3 \rho}{2\pi x_1} - \frac{I_3 \rho}{2\pi (x_1 + d)} = \frac{I_3 \rho d}{2\pi x_1 (x_1 + d)}; \quad (2)$$

$$U_{ш1} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{I_3 \rho}{2\pi x_2} - \frac{I_3 \rho}{2\pi (x_2 + d)} = \frac{I_3 \rho d}{2\pi x_2 (x_2 + d)} \quad (3)$$

Если  $x_1 > x_2$ , то  $U_{ш1} > U_{ш2}$ , следовательно по мере удаления от места замыкания опасность шаговых напряжений уменьшается.

Шаговое напряжение на расстоянии 10...20 м от места замыкания практически не представляет опасности. При шаге равном 0,8 м, интенсивная судорога может возникнуть в случае, если шаговое напряжение равно 100...150 В. В результате судороги ног человек может упасть на землю, и при этом, за счет увеличения расстояния между точками земли, которых он теперь будет касаться руками и ногами, может возрасти разность потенциалов. Ток в этом случае будет протекать по более опасному пути "руки-ноги". Совокупность этих факторов может привести к стремительному поражению человека электрическим током.

Для предупреждения поражения током при случайном попадании в зону растекания тока следует покидать ее так, чтобы по возможности свести

разность потенциалов на ногах к нулю. Устранить опасность поражения шаговым напряжением можно с помощью диэлектрической обуви.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### Описание лабораторного стенда

Изучение шагового напряжения производится на стенде, состоящем из вертикальной и горизонтальной панелей (рис. 3).

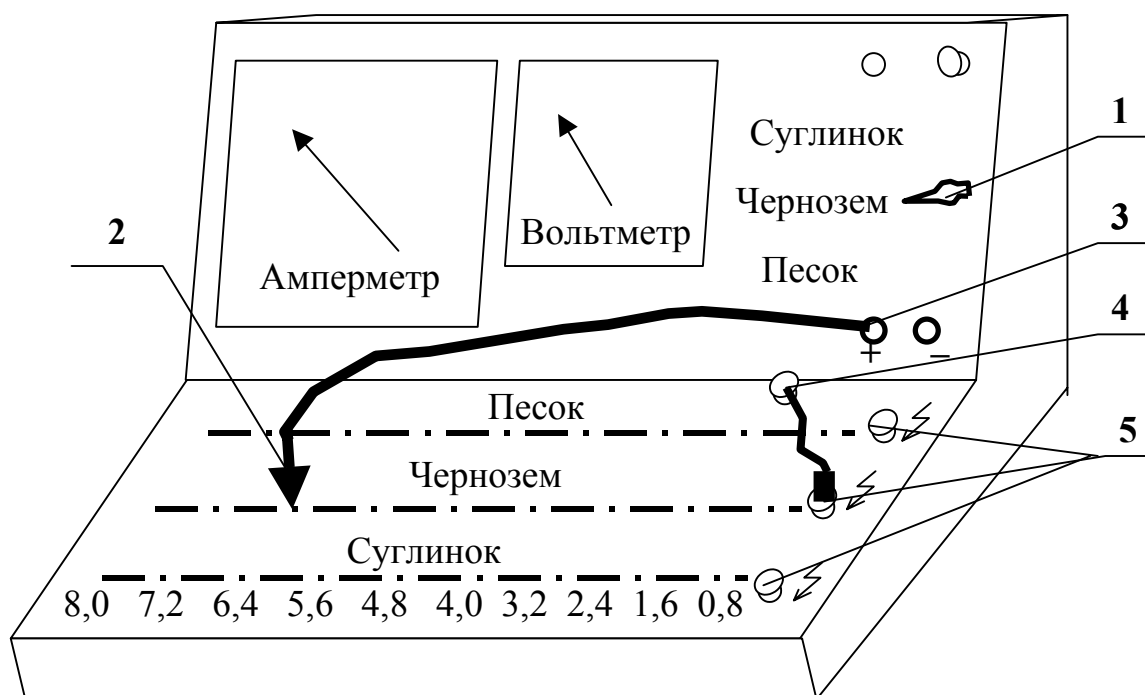


Рис. 3. Лабораторный стенд для исследования шагового напряжения  
1 – переключатель грунтов; 2 – гибкий проводник со штекером; 3 – клемма измерительного прибора; 4 – источник тока; 5 – заземлители.

Зона растекания представлена тремя грунтами (песок, чернозем, суглинок). Точкой замыкания на землю является заземлитель (5) (отдельный для каждого грунта). Включение замыкания на землю производится соединением гибким проводником источника тока (4) с заземлителем на соответствующем грунте. Амперметр показывает ток замыкания на землю для данного грунта. На всех грунтах имеются отверстия на расстоянии 0,8 м друг от друга для измерения потенциалов относительно нуля, расположенного за радиусом зоны растекания тока. Включение нужного грунта производится переключателем (1). Измерение потенциалов точек производится с помощью вольтметра, одна клемма которого соединена с электротехнической землей, а к другой присоединен гибкий проводник со штекером (2).

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Для изучения шагового напряжения необходимо следующее:

1. Включить стенд в сеть.
  2. Переключателем (1) выбрать вид грунта и соединить источник тока (4) с заземлителем соответствующего грунта (5).
  3. Определить по амперметру ток замыкания на землю.
  4. Провести замеры потенциалов точек поверхности земли с помощью гибкого проводника со штекером (2). Результаты измерений записать в таблицу 1.
  5. Выполнить п. 2, 3 и 4 для всех типов грунта.
  6. Определить расчетные значения потенциалов этих точек по формуле (1). Значения удельного сопротивления грунта  $\rho$  и тока  $I_z$  принять для:
    - песка  $\rho = 8,25 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}; I_z = 0,4 \text{ А}$
    - чернозема  $\rho = 5,2 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}; I_z = 0,5 \text{ А}$
    - суглинка  $\rho = 3,3 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}. I_z = 0,7 \text{ А}$
- или по варианту
7. Построить кривые распределения потенциалов (см. рис. 2) на различных грунтах в координатах  $\varphi$  и  $x$  на одном графике.
  8. Сравнить величину шагового напряжения, приложенного к человеку, стоящего ногами в точках 1 и 2 и в точках 9 и 10

## Содержание отчета

1. Наименование работы
2. Цель работы.
3. Исследование шагового напряжения:
  - основные определения, расчетные формулы;
  - таблица результатов эксперимента (табл. 1)
  - график кривых распределения потенциалов для песка, чернозема и суглинка;
  - вывод о зависимости шагового напряжения от расстояния шага от места замыкания.

Таблица 1.

Тип грунта		$\rho$ , Ом·м	$I_z$ , А	Потенциал $\varphi$ , В для точек на расстоянии, м				
				0,8	1,6	...	8,0	8,8
Песок	экспер.							
	расчет.							
Чернозем	экспер.							
	расчет.							
Суглинок	экспер.							
	расчет.							